

Värmning av rensluften på en skördetröska

Heating of the cleaning air on a combine harvester

Arvid Örde



Värmning av rensluften på en skördetröska

Heating of the cleaning air on a combine harvester

Arvid Örde

Handledare: Torsten Hörndahl, SLU, Institutionen för biosystem och teknologi

Examinator: Sven-Erik Svensson, SLU, Institutionen för biosystem och teknologi

Omfattning: 10 hp

Nivå och fördjupning: Grundnivå, G1E

Kurstitel: Examensarbete för lantmästarprogrammet inom lantbruksvetenskap

Kurskod: EX0619

Program/utbildning: Lantmästare - kandidatprogram

Utgivningsort: Alnarp

Utgivningsår: 2015

Omslagsbild: Kristina Örde

Elektronisk publicering: <http://stud.epsilon.slu.se>

Nyckelord: skördetröskning, spannmålstorkning, rensning, spill, energi



Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds-
och växtproduktionsvetenskap
Institutionen för biosystem och teknologi

FÖRORD

Lantmästarprogrammet är en två årig universitetsutbildning vilken omfattar 120 högskolepoäng (hp). En av de obligatoriska delarna i denna är att genomföra ett eget arbete som ska presenteras med en skriftlig rapport och ett seminarium. Detta arbete kan t.ex. ha formen av ett mindre försök som utvärderas eller en sammanställning av litteratur vilken analyseras. Arbetsinsatsen ska motsvara minst 6,7 veckors heltidsstudier (10 hp).

Jag har själv varit intresserad av skördetröskor och iden som ligger till grund av detta försök är något som jag funderat på ända sedan jag var liten. Jag såg detta som ett utmärkt tillfälle att pröva min ide om att värma rensluften på en skördetröska med hjälp av överskottsvärmen ifrån motorn.

Ett varmt tack riktas till Niklas Carlsson och Kristina Örde som har hjälpt mig vid de praktiska försöken, jag vill även tacka min far Torsten Örde för upplåtelse av åkermark och Anders Eriksson på ventilationsföretaget Thermi Vent för hjälp av mätning av luftflöden, till sist vill jag även tacka min handledare Torsten Hörndahl som varit till stor hjälp vad gäller synpunkter och teoretiska beräkningar.

Universitetsadjunkt Torsten Hörndahl har varit handledare och examinator har varit universitetsadjunkt Sven-Erik Svensson.

Uppsala oktober 2015 ``

Arvid Örde

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

SAMMANFATTNING	3
SUMMARY	4
INLEDNING	5
BAKGRUND	5
SYFTE	5
MÅL	5
AVGRÄNSNING	5
LITTERATURSTUDIE	6
KORT OM SPANNMÅLSKONSERVERING	6
TORKNING	6
SÅ FUNGERAR EN SKÖRDETRÖSKA	7
EN DIESELMOTORS VERKNINGSGRAD	10
OLIKA INNOVATIONER FÖR ATT TORKA SPANNMÅLEN DIREKT I TRÖSKAN	11
MATERIAL OCH METOD	13
OMBYGGNING AV TRÖSKA	13
MÄTNING AV LUFTFLÖDE	17
FÖRSÖK I FÄLT	18
MÄTNING AV VATTENHALT	20
MÄTNING AV KÄRNSPILL	20
RESULTAT	21
LUFTFLÖDE	21
ÅTERVINNINGSBAR VÄRME TRÖSKMOTOR	21
TEORETISK TORKNINGSKAPACITET	21
RESULTAT KÄRNSPILL	23
RESULTAT FÖRSÖK I FÄLT	23
DISKUSSION	27
REFERENSER	29

SAMMANFATTNING

Under de senare åren har frågor om jordbrukets påverkan på klimatet blivit mer aktuella. Sveriges jordbruk släpper ut cirka 10 miljoner ton koldioxid om året. En av källorna till utsläppen är från fossila bränslen som används till framdrivning av maskiner och torkning av spannmål (Jordbruksverket 2015). Väderförhållandena i de nordiska länderna erbjuder inte en lika fördelaktig skördesäsong som i södra delar av världen. En kort skördesäsong och ibland en stor nederbörd gör skördarbetet dyrt både i form av maskinkostnader och torkningskostnader. Vid skörd och lagring av spannmål med hög vattenhalt uppstår problem. Tillbaka i tiden har det funnits innovationer som torkar grödan direkt i skördetröska och därmed minskar problemen men ingenting som slagit igenom på marknaden.

Dieselmotorer som är en vanlig drivkälla i skördetröskor har en verkningsgrad på cirka 38 procent. Resten avges som värmeenergi. I dagsläget går nästan all den energin till spillo. Detta examensarbete har gjorts för att undersöka om någon positiv effekt kan ges av att dra nytta av överskottsenergin genom att använda den till att värma rensluften på en skördetröska. För att fördjupa mig i ämnet och undersöka om det skulle vara teoretiskt möjligt har en litteraturgenomgång gjorts för att lära mig mer om spannmålstorkning och förstå hur processen i sig går till. I arbetet beskrivs även hur en skördetröska fungerar och det berättas om tre andra innovationer som tidigare berört ämnet. Teoretiska beräkningar angående spannmålstorkning har gjorts. För att se om det fungerar i praktiken har en Volvo BM S830 skördetröska införskaffats och modifierats så att värme till rensluften kan kopplas av och på. Praktiska försök i fält med maskinen har utförts. Resultat från sex olika försöksblock vid tre olika tillfällen på dygnet har vattenhaltprover samlats och spillprover utförts.

I resultaten kan läsas att genom ombyggnationen på tröska så har vi varmt rensluftens temperatur med ca 25°C. Detta genom att bara använda sig av överskottsenergin från tröskans dieselmotor. Utav de olika vattenhaltsproverna på de tröskade kärnorna har man inte kunnat utläsa någon signifikant skillnad. Däremot de prover som togs på boss från tröskans returelevator visade sig ombyggnationen ha en positiv effekt.

Efter utfört arbete står fortfarande många dörrar öppna och många problem visade sig längs vägen. Men mer tid, kunskap och en större ekonomisk budget hade kanske mer tillförlitliga resultat och användningsområden kunnat erhållas.

SUMMARY

In recent years, questions about the impact of agriculture on climate has become more relevant. The Swedish farming emits about 10 million tons of carbon dioxide a year. One of the sources of emissions from fossil fuels used for the propulsion of machinery and drying of grain (Jordbruksverket 2015). Weather conditions in the Nordic countries in Europe offer not as favorable harvest season in southern parts of the world. A short harvest season and large rainfall makes harvesting expensive both in terms of equipment costs, and drying costs. When harvesting and storing grain with high moisture problems occur. Back in time there have been innovations that dries the crop directly into the combine and thus reduce the problems but nothing that had an impact on the market.

Diesel engines in combine harvester has an efficiency of about 38 percent, the rest is release as heat energy. This work has been studying whether any positive effect can be given by taking advantage of the excess energy by using it to heating the air on a combine harvester. To learn more in the subject, and studying whether it would be theoretically possible, a literature review has been conducted to learn more about grain drying and understand how the process itself works. The work also describes how a combine works. Theoretical calculations on grain drying has been carried out to see if it would work. To be able to find out more a full scale test have been made with a Volvo BM S830 combine harvester. It was modified so that heat from the engine can be put on and off manually. Practical experiments in the field with the machine have been performed. Results from six different tests at three different times of day have been collected and water samples and waste samples were performed.

The results can be read that it is possible to heat a large amount of air to a high temperature just by using excess energy from a combine harvester diesel engine. Out of the different moisture samples of threshed seeds have not been able to deduce any significant difference but the samples taken on the boss of the combine returned elevator proved redevelopment have an positive effect.

After work performed are still many doors open and many problems turned out along the way. But more time, knowledge and greater financial budget had perhaps more reliable results, and applications could be obtained.

INLEDNING

Bakgrund

Valet av mitt examensarbete grundar sig på mitt stora intresse för maskiner och teknik. Jag är uppvuxen på en växtodlingsgård och har varit med och hjälpt till i spannmålsskörden så länge jag kan minnas. Tanken av att det skulle gå att torka spannmålen direkt i tröskan är någonting som fascinerat mig från första stund. Att kunna ta till vara av så mycket energi som möjligt av den diesel som går åt vid skördarbetet är positivt både i ekonomiskt och ur miljömässigt perspektiv. Dagens debatt om miljö och energiutnyttjande har gjort att jag tycker frågan är viktig att lyfta och valet av examensarbete var därför ingen tvekan.

Syfte

Mitt syfte med detta examensarbete var att undersöka hur mycket överskottsvärme jag kan få ut ur motorn på en skördetröska med hjälp av en enkel ombyggnation. Vidare frågeställningar är om det kan ge någon positiv effekt i form av torkning eller rensning genom att förvärma rensluften på en skördetröska..

Mål

Målet med detta examensarbete har varit att genom litteraturstudie, teoretiska uträkningar och praktiska försök kunna få fram fakta som bevisar om någon positiv effekt av att värma upp rensluften på en skördetröska kan konstateras.

Avgränsning

Några ekonomiska beräkningar på torkning och maskinkostnader har inte gjorts. Inte heller miljöaspekter och energiförbrukning kommer att behandlas. Fokus har legat på att bygga om skördetröskan enkelt efter egna idéer och endast enklare uträkningar gällande strömningslära och spannmålstorkning har gjorts.

LITTERATURSTUDIE

Kort om spannmålskonservering

För hög vattenhalt i spannmålen orsakar problem vid lagring. Det finns olika sätt att behandla spannmålen för att göra den lagringsduglig. En av metoderna är torkning vilket är den vanligaste globalt sett (Brooker, et al, 1992). För konservering av livsmedel är torkning den äldsta metoden (Nationalencyklopedin, 2014). Generellt kan sägas att torkning delas upp i två olika metoder, kalllufts och varmluftstorkning. Vid varmluftstorkning höjer man luftens temperatur genom att låta den passera någon form av värmekälla innan den blåses genom spannmålen. När man kallluftstorkar råder temperaturen som uteluften har för tillfället. Vid vattenhalter högre 20-22 procent är varmluftstorkning att rekommendera då en snabbare torkning sker och risken för bland annat mögelangrepp minimeras. Tillväxt av mögelsvampar påverkar spannmålens lukt, smak och grobarhet. Av Sveriges spannmål torkas uppskattningsvis 80-90 procent i konventionella varmluftstorkar (Jonsson, 2006).

Torkning

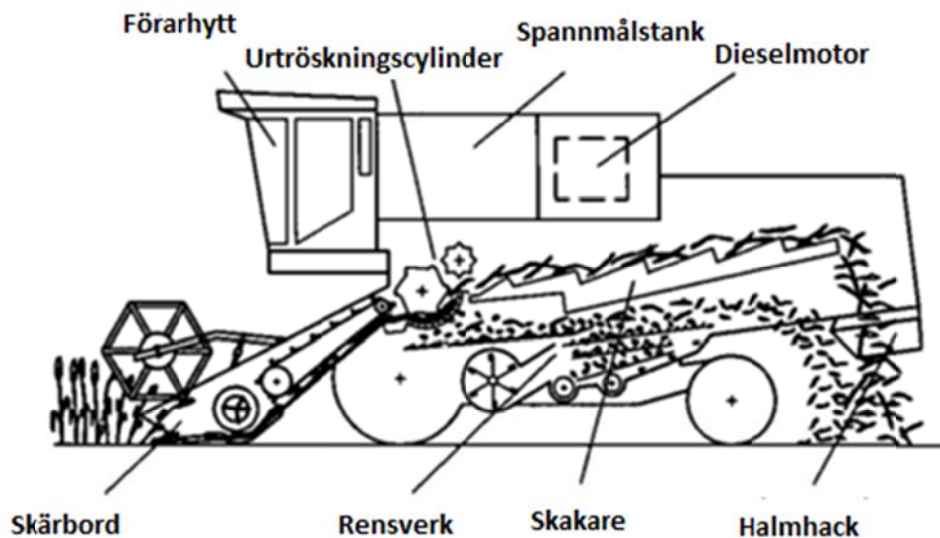
Torkning definieras som att avlägsna vätska från något, genom att låta den avdunsta eller sugas upp. Torkningsförloppet är inte konstant utan delas upp i två perioder. I den första perioden är godsets yta våt och det handlar om ren ytaavdunstning. Torkningen uppträder på samma vis som avdunstningen från en vattenyta (Brooker, et al 1992). När vattenhalten i godset sjunkit under en viss gräns börjar den andra torkningsperioden varvid avdunstningsytan där förångningen sker. Då tas vattnet allt längre in i kärnan. Vattnet som ska ut ur kärnan måste tränga igenom de redan torkade skiktet och torkningshastigheten sjunker (Nationalencyklopedin 2014).

Den mängd luft som blåses på kärnan påverkar torkningshastigheten. En större mängd luft som passerar suger upp mer vatten, men om flödet är för högt hinner inte luften mättas. Uppvärmning av luften sänker den relativa luftfuktigheten och gör det möjligt för luften att bära med sig mer vatten. Vid en högre temperaturskillnad går även fuktvandringen från spannmålskärnans inre mot ytan snabbare. Kortfattat, ju torrare och varmare luft som används desto snabbare sker torkningen (Brooker, et al 1992).

Så fungerar en skördetröska

Huvudfunktionerna i en skördetröska är avskärning och uppsamlingen av grödan samt därefter frånskiljning och utröskning av kärnan.

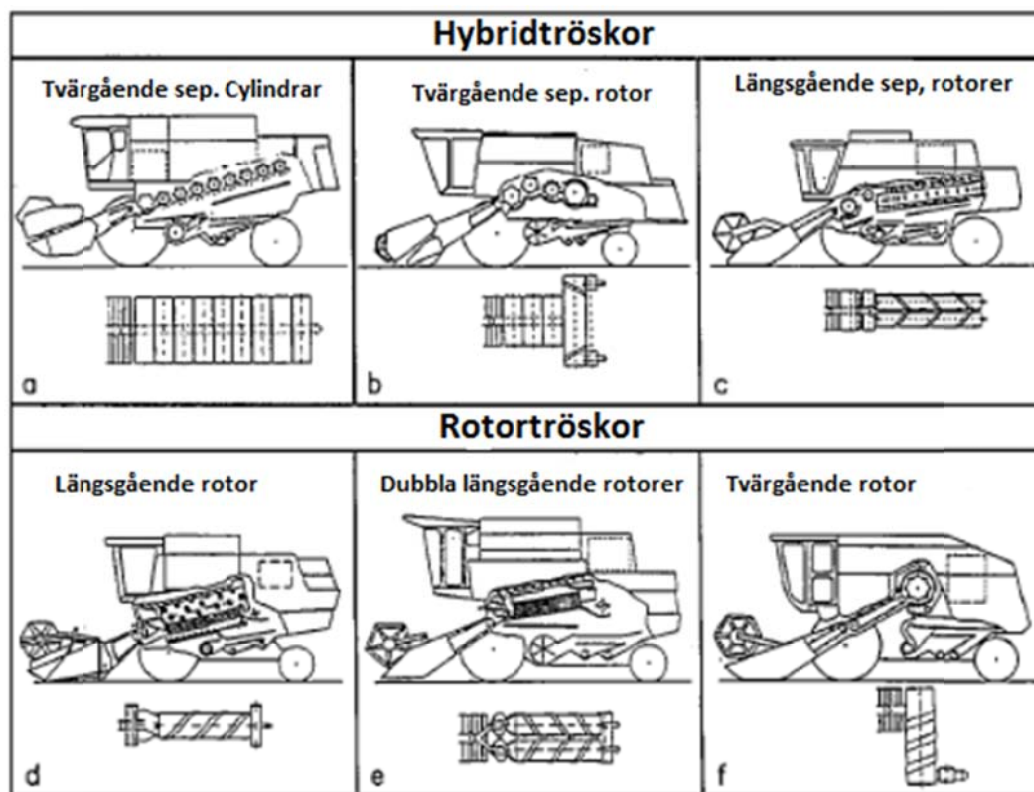
Avskärning sker med hjälp av en kniv monterad längst fram på skärbordet som sedan följs av en skruv som transporterar grödan vidare sidledes till inmatningselevatoren. Materialet matas sedan in i tröskan av en kedjetransportör med medbringare. Figuren 1 nedan visar en konventionell skakartröska med utröskningscylinder som följs av skakare. På en sådan skördetröska matas efter inmatningselevatoren materialet in i utröskningscylindern som med hjälp av rotationshastigheten skapar en frånskiljning i form av kontraktion och centrifugalkraft. Huvuddelen av kärnorna faller igenom slagskon som är gallerförsedd, halm och kärnor som inte blivit frånskilda fortsätter vidare till skakarna för fortsatt separering. Kärnorna ramlar ner till uppsamlingsplanet och vidare till sållkassen som står för den slutliga separationen där agnar och boss skiljs från kärnan med hjälp av mekaniska rörelser och luft. De ax som inte blir utröskade transporteras av en elevator upp till utröskningscylindern och tröskas om igen. (Kutzbach & Quick 1999, s. 311)



Figur 1. Delarna i en konventionell skakartröska (Kutzbach och Quick, 1999).

Andra urtröskningssystem

Trösktillverkarna använder sig även av andra system att tröska ur kärnorna och skilja bort halmen (Se figur 2). Vissa skördetröskor har en stor längsgående rotor som sköter båda delarna, andra har ett så kallat hybridssystem där tröskan arbetar med urtröskningscylindrar i början för att sedan skilja ur halmen med hjälp av rotor. Oavsett om tröskan är en rotortröska eller hybrid eller en traditionell skakartröska är de försedda med ett enkelt luftrensverk för att rensa bort boss och agnar från kärnan.

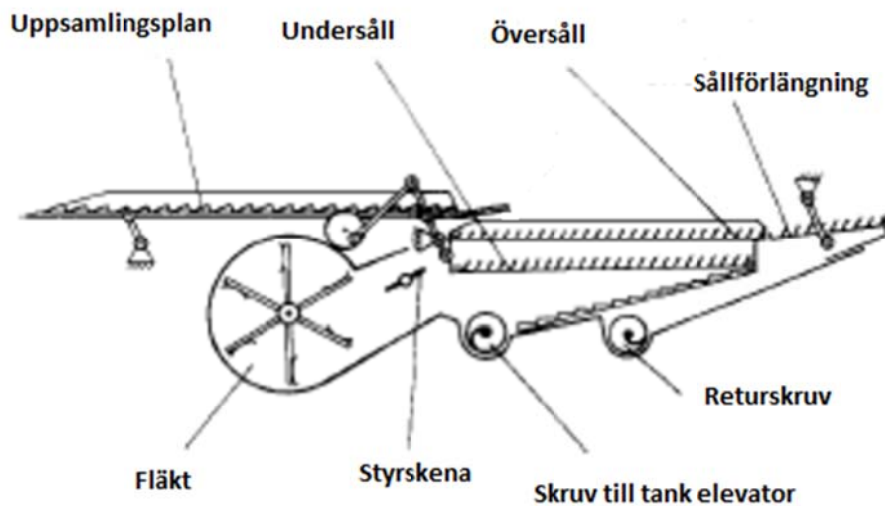


Figur 2. Olika typer av urtröskningssystem (Kutzbach och Quick, 1999).

Rensverket

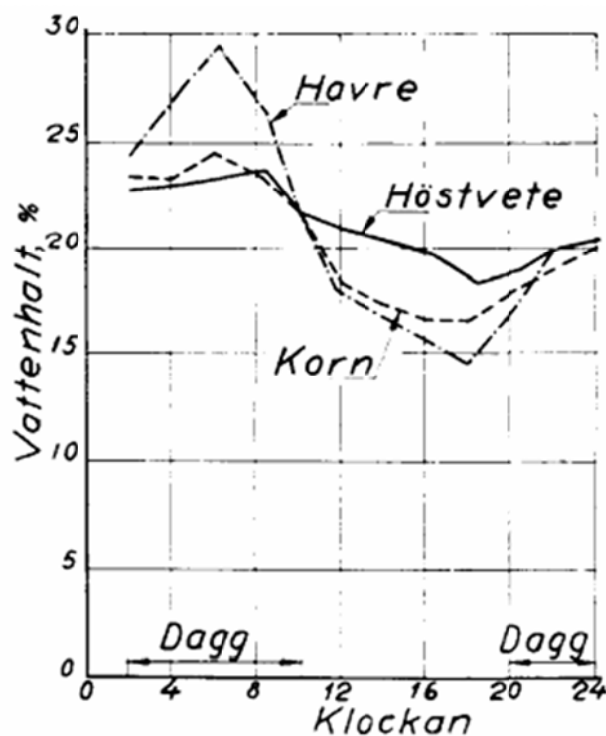
Rensverket i en tröska består av uppsamlingsplan, sållhus och en fläkt (Se figur 3). De tröskade kärnorna ramlar ner på uppsamlingsplanet som på en traditionell skakartröska börjar under urtröskningscylindern. Tröskgodset transporteras sedan bakåt i tröskan mot sållkassen. Hur transporten av tröskgodset sker skiljer sig beroende på fabrikat och modell av skördetröska. Vanligast sker transporten med hjälp av mekaniska rörelser som skakar kärnorna bakåt i tröskan men på marknaden förekommer även elevator eller skruvförsedda uppsamlingsplan. Kärnorna hamnar efter uppsamlingsplanet, först på det

grövre översållet och ramlar sedan ned till det finare undersållet. Hela sållkassen rör sig fram och tillbaks i snabba rörelser i tröskans färdriktning. Med hjälp av dessa rörelser fraktioneras tröskgodset. En fläkt med variabel hastighet är monterad framför och under sållkassen för att blåsa bort oönskat material såsom skal och agnar. Mängden luft regleras genom att ändra fläktens varvtal och luftriktningen kan ställas in genom en ställbar ledskena som styr luften där den ger bäst effekt beroende på gröda man tröskar. Vid ett homogent något fuktigt material exempelvis oljevaxter önskar man att rikta luftströmmen tidigare på sållen (Sörkvist, 2000). De kärnor som inte är ordentligt utröskade fördelas senare tillbaka över utröskningscylindern för att bli ordentligt utröskade. På vissa skördetröskmodeller finns slagor på returelevatoren som då tröskar ur kärnorna och därefter kastar ut materialet direkt på uppsamlingsplanet (Hvam, 1998).



Figur 3. Rensverk på skördetröska (Kutzbach och Quick, 1999).

Har grödan hög vattenhalt när den skördas är det svårt att få en välrensad vara utan att spillet ökar. En faktor är att fuktiga uppsvällda kärnor har andra svävegenskaper än torra. Risken för kapacitetsförluster i rensverket ökar mot kvällen då grödan blir fuktigare och tyngre på grund av högre relativ luftfuktighet eller dagg. Av stråsädesgrödorna så reagerar havre snabbast på den högre luftfuktigheten som kommer med kvällen (Se figur 4). Det beror till mestadels på hyroskopiska agnar. Havre är annars mycket lätt att skilja ifrån men när fuktigheten ökar får godset en förmåga att klibba fast både på såll och övrigt rensods. När detta händer hjälper det oftast inte att bara öka luftmängden utan körhastigheten måste minskas så att mer tid till rensning ges (Lundin, 1999).



Figur 4. Olika gröders variation i vattenhalt under dygnet. (Berg & Persson, 1993).

En dieselmotors verkningsgrad

I alla tekniska processer uppstår förluster, vilket innebär minskad verkningsgrad. Verkningsgrad är förhållandet mellan nyttigjord och tillförd energi i ett system. I en dieselmotor blir ca 38% av den kemiska energin i bränslet omvandlad till rörelseenergi som vi kan dra nytta av. Resten av energin omvandlas till värme som avgår på olika sätt. Ca 25% av den tillförda energin (Dieseln) avgår som värme genom konvektion i vätskekylaren, ca 10 procent avgår som friktion och ca 25 procent avgår som värme via avgaserna och genom strålningsvärme från motorblocket (Malmström & Wetterdal, 1999). Som exempel tar vi en dieselmotor med en effekt på 41 kW vid 2600 r/min. Dessa 41 kW motsvarar alltså ca 38 procent av den energin vi tillför ($41 \text{ kW} / 0,38 = 107 \text{ kW}$). Teoretiskt har vi då 67 kW energi som avgår i värme. Detta överskott borde kunna användas till något nyttigt.

Olika innovationer för att torka spannmålen direkt i tröskan

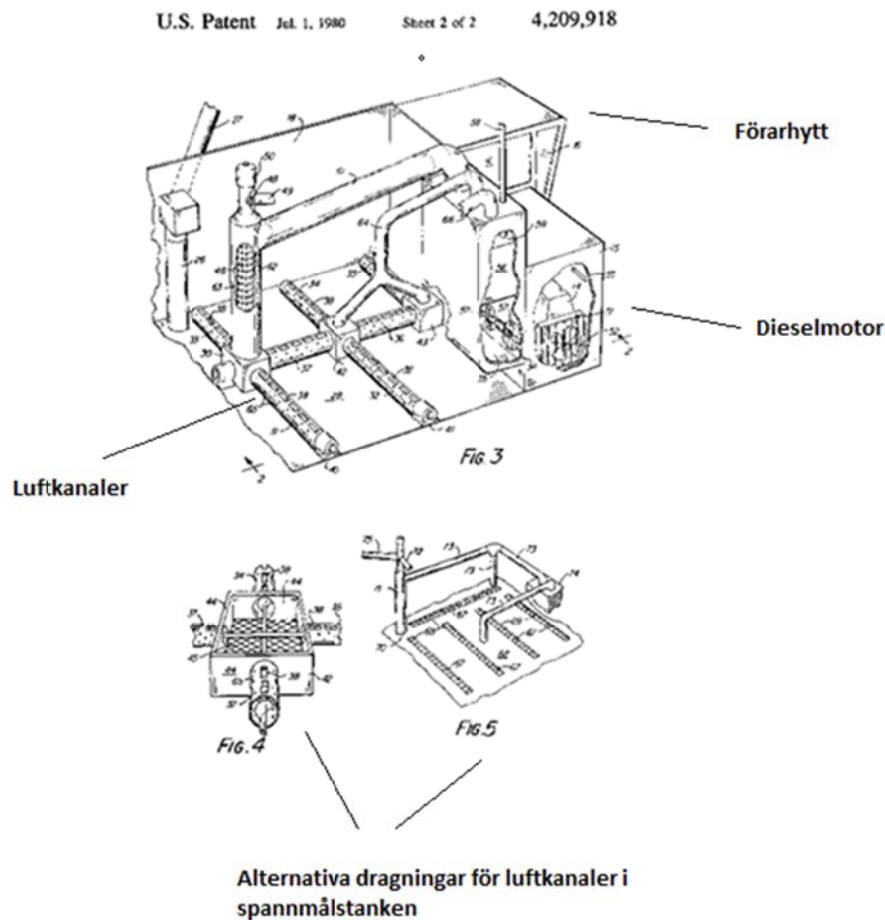
Det har gjorts ett antal olika förslag och konstruktioner att torka spannmålen redan i tröskan. En mängd patent finns i ämnet, det första redan från år 1947 (Google Patents US2465070 A). Konstruktionerna skiljer sig åt, allt från att montera luftningskanaler i hela spannmålstanken till att leda skörden genom en typ av mikrovågsugn. Nedan följer förklaring av tre exempel som jag valt ut på grund av dess intressanta konstruktion.

Påbyggnadstork till skördetröska

En lösning kommer ifrån forskare vid Agricultural Canadas forskningsstation i Quebec, Kanada. Där har man byggt en spannmålstork som är en påbyggnadsdel konstruerad för en John Deere 6600 skördetröska. En värmeväxlare fångar upp all överskottsvärme från motorn och cirka 50 procent av värmen från avgaserna. Den varma luften leds senare in i botten av spannmålstanken och upp genom spannmålen för att senare återvinnas igen. Termostatstyrda ventiler styr flödet av luft för att hålla motorn i rätt arbetstemperatur och undvika överhettning. Enligt en av ingenjörerna i projektet sänkte påbyggnadsenheten vattenhalten med en procent under tiden spannmålen var i tanken. Den höjde även temperaturen i spannmålen så att mindre energi gick åt att torka ner den i torkanläggningen på gården. Försöken gjordes både i spannmålsgrödor och i majs. År 1986 beräknade kostnaden för påbyggnadssatsen till 4000 US dollar (Anonym, 1986).

Torkning direkt i spannmålstanken

En uppfinning av amerikanen Darrel J. Klein som är patentregistrerat 1980 och fungerar som en satstork med tröskans motor som värmekälla. Motorn värmer upp luft som blåses vidare ut genom luftkanaler som ligger i botten på tröskans spannmålstank. Spannmålen i tanken torkas tills det är dags att tömma den i vagnen.(Se Figur 5)



Figur 5. Tork med hjälp av luftkanaler i tröskans spannmålstank (Klein, 1980).

Torkning med hjälp av mikrovågor

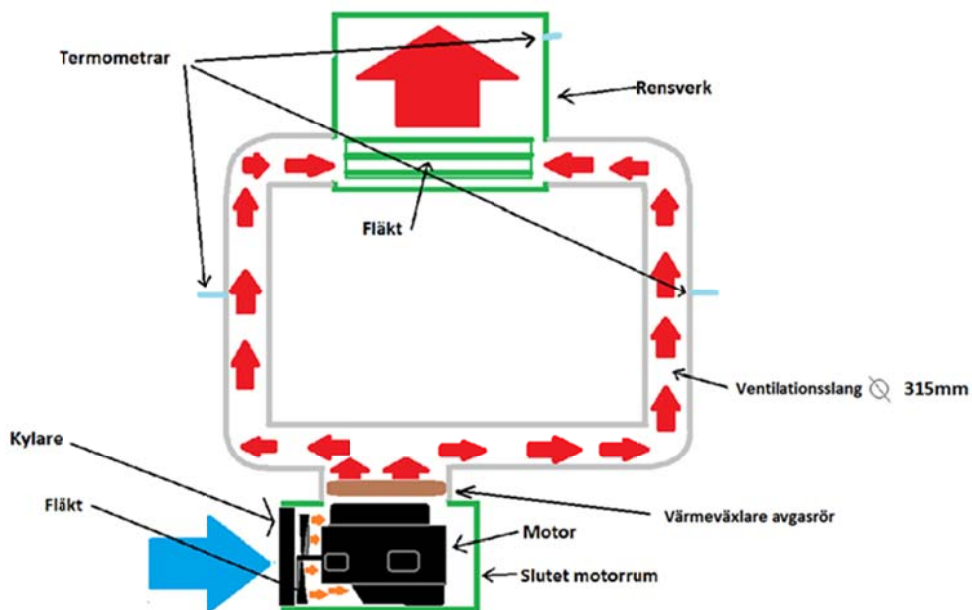
En mycket intressant konstruktion kommer från Alvin Snaper, uppfinnare och ägare av Neo-Dyne Research i Las Vegas, Nevada. Snaper har konstruerat en tork monterad på tröskan som spannmålen går igenom innan den kommer till spannmålstanken. Spannmålen torkas med samma teknik som en mikrovågsugn. Problemet var att denna konstruktion krävde så mycket effekt att tröskans motor inte klarade av att driva den. Problemet löstes genom att också blåsa in värmen från avgaserna i en förtorkningskammare, på så sätt reducerades effektbehovet på mikrovågstorken och även minskade risken för torkningsskador på kärnorna. Det visade sig även att den varma luften och mikrovågorna kompletterade varandra mycket bra då mikrovågorna torkade ut vattnet från kärnorna och den varma luften förde bort fukten på ytan. I en prototypmodell uppnådde man så hög torkningskapacitet så att man minskade fukthalten med 10 procentenheter vatten när man matade den med 600 kg spannmål per minut. Något intresse från maskintillverkarna verkar dock inte funnits (Garwey, 2009).

MATERIAL OCH METOD

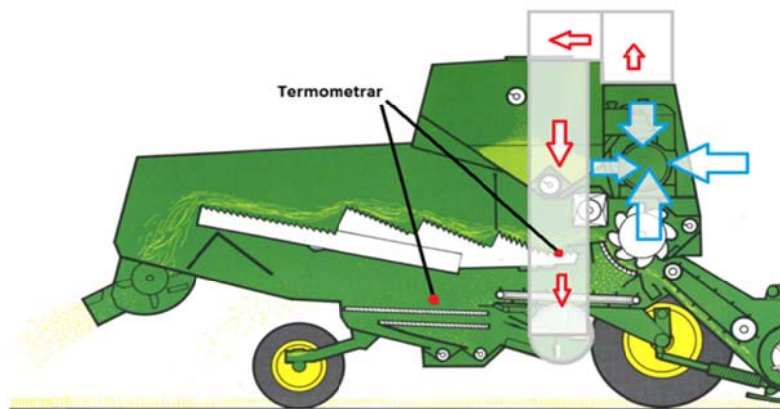
För att kunna utföra försöket införskaffades en Volvo BM S830 årsmodell 1976. Att valet föll på en S830 var därför att det finns ett stort utbud av modellen och den passade också bra till ombyggnad då motorn sitter monterad lätt tillgängligt på höger sida av förarplatsen.

Ombyggnation av tröska

Figureerna 6 och 7 visar en principiell skiss hur skördetröskan är ombyggd och tänkt att fungera för att kunna tillvara överskottsvärmen från dieselmotorn. Den kalla luften sugas in via kylare och leds sedan genom motorutrymmet för att fånga upp så mycket värme som möjligt. Den uppvärmda luften leds sedan ner till skördetröskans rensfläkt via rör som är monterade på bägge sidor om tröska. Därefter blåses luften genom sålytorna och är tänkt att på så vis avlägsna fukt från tröskgodset.



Figur 6. Skiss över systemet efter ombyggnaden.



Figur 7. Tröskan sedd från sidan.

En förhöjning av motorutrymmet byggdes där två stycken ventilationsslangar med innerdiametern 315 mm anslöts bakifrån (se figur 8 och 9) för att sedan leda den varma luften neråt till insuget på axialfläkten nere vid rensverket. Slangarna monterades med slangklämmor på rensverket så att de lätt kunde monteras av och på vid de olika försöken.



Figur 8. Slangarnas montering vid det förhöjda motorutrymmet.



Figur 9. Modifierad tröska med slangarna påmonterade.

En värmeväxlare för avgasröret i form av en begagnad badrumsradiator installerades över motorn för att värma luften ytterligare (se figur 10).



Figur 10. Avgaserna leds via en värmeväxlare i form av en badrumsradiator.

Digitala termometrar monterades på vardera ventilationsslang. Displayen kunde avläsas inifrån förarhytten (se figur 11).



Figur 11. Termometrar monterade på de två ventilationsslangarna med avläsning inifrån hytten.

Det monterades även en termometer för att läsa av den utgående rensluftens temperatur när den passerat sållytorna för att på så sett kunna räkna ut hur mycket fukt luften sugit åt sig. Denna display monterades utanpå tröskan och den visade även luftens yttertemperatur (se figur 12).



Figur 12. Termometer som mäter yttertemperatur och temperatur efter luften passerat igenom sållen.

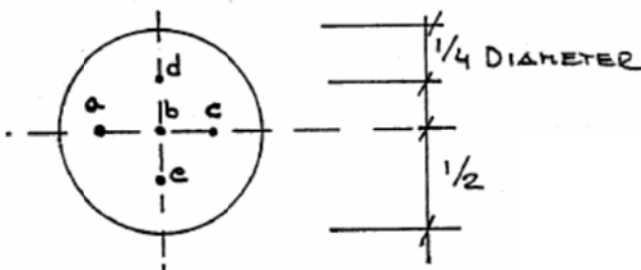
Mätning av luftflöde

Mätning av luftflöde gjordes för att kunna räkna ut hur mycket energi som vi får ut i form av värme från motorn och för att se hur lufthastigheten förändrades med och utan slangar monterade. Mätningen utfördes av en ventilationstekniker som förde in en lufthastighetsmätare i de monterade ventilationsslangarna (se figur 13). Vid mätning utan slang installerades en rör-stump ca 1 m på rensfläktens insug. Detta för att kunna få en mätning så pålitlig som möjligt. Försöken utfördes med fullt varv på tröskans motor och skalan för fläkthastigheten stod på 90 %. Resultatet användes även för att beräkna vilken teoretisk torkningskapacitet som kunde erhållas.



Figur 13. Ventilationstekniker Anders Eriksson mäter lufthastigheten i slangarna.

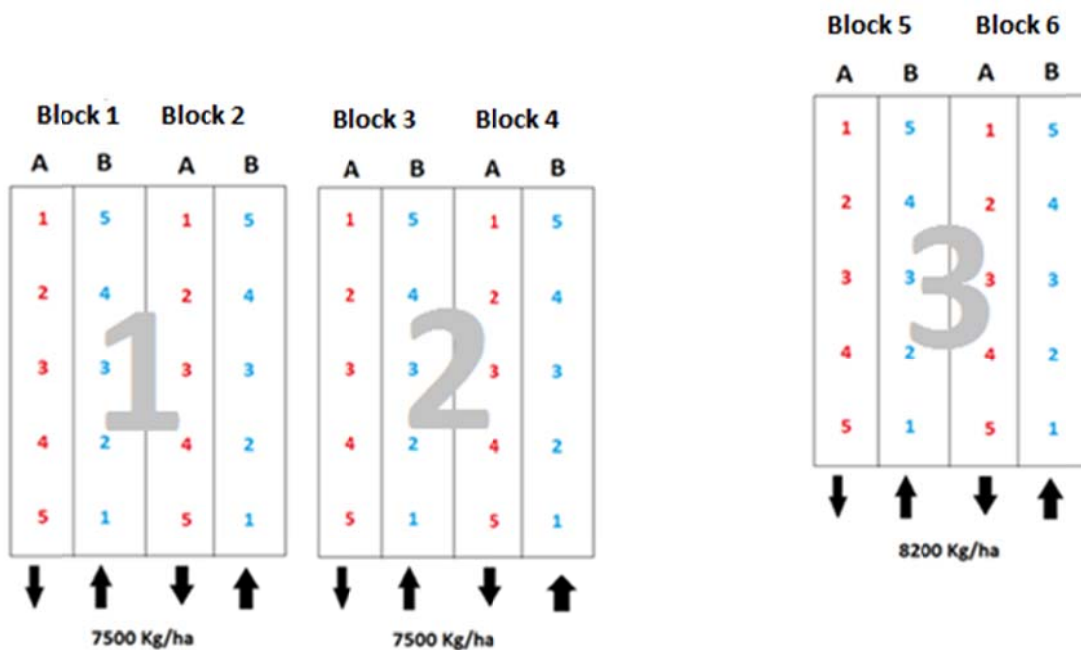
Lufthastighetsmätaren som var av typen varmrådsgivare stacks in på fem olika punkter i varje rör/slang (se figur 14). Mätningen utfördes två gånger för att sedan räkna ut ett medelvärde som sedan multiplicerades med arean för att få fram volymen luft som passerade genom röret/slangen.



Figur 14. Bilden visar de fem olika mätpunkterna.

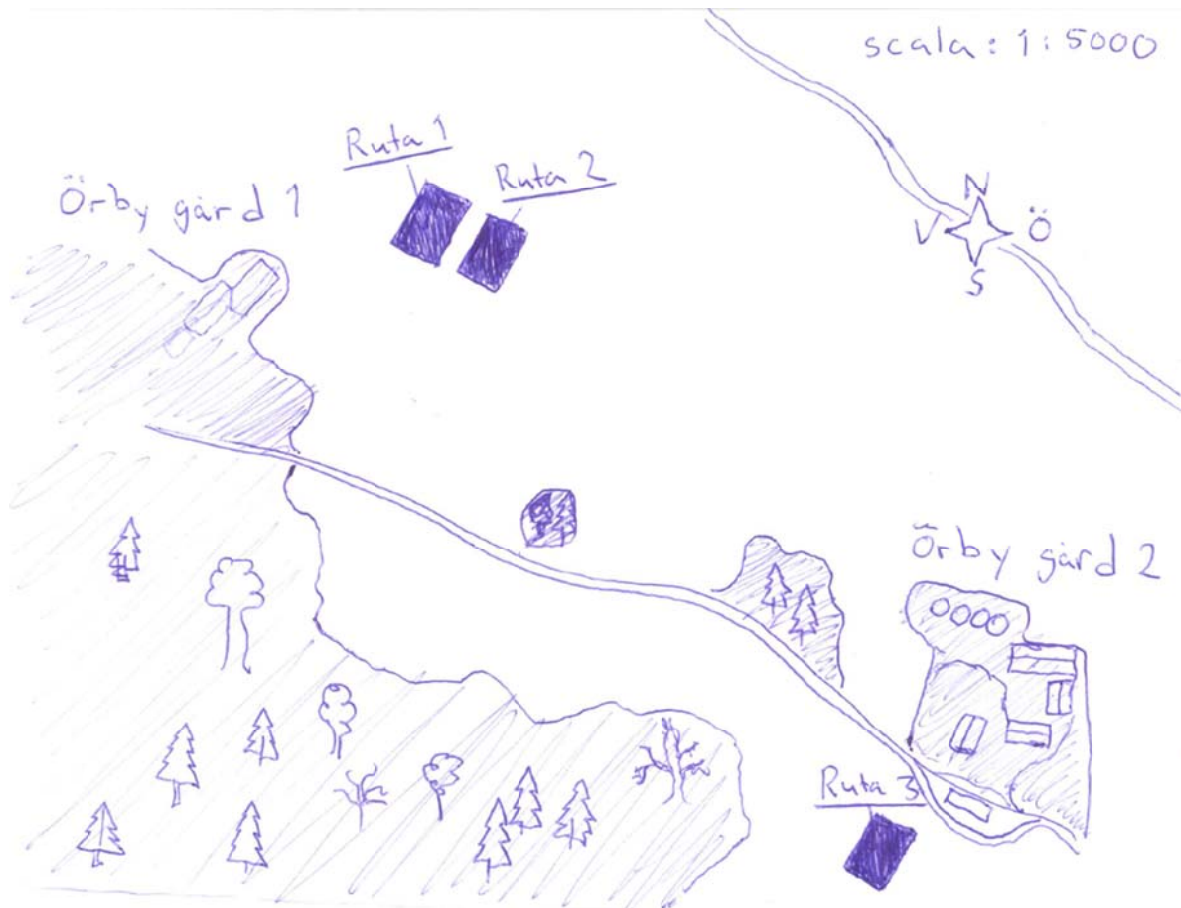
Försök i fält

Försöken gjordes mellan 13/8 och 15/8-2014 på Örby gård som ligger 1,5 mil nordost om Uppsala. Alla försök gjordes i höstveten vid olika tidpunkter och vattenhalter. Totalt gjordes sex försöksblock i tre försöksrutor. Ett block bestod av uppsamlingar av fem prov på tröskade kärnor med värme påkopplad (A) och fem provtagningar utan värme påkopplad (B). Prover togs också på hela ax inför varje försök. Axen samlades slumpvis från hela sträckan. På block fem och sex togs även prover på boss ifrån tröskans returelevator. Även där med och utan värme. Tidpunkterna och vattenhalterna för försöken var olika. Block ett och två gjordes på kvällen när daggen lagt sig. Block tre och fyra gjordes tidigt morgonen innan daggen hade hunnit gått ur och block fem och sex gjordes en dag senare utan dagg men i en gröda som höll betydligt högre vattenhalt än föregående block (se figur 15).



Figur 15. Illustration av hur försöken är upplagda. De stora grå siffrorna anger försöksrutornas nummer. Varje ruta innehöll två block. De röda siffrorna visar prov tagna med värme påkopplad och de blå siffrorna visar prov tagna utan värme påkopplad. A är med värme och B är utan. Pilarna visar riktningen tröskan framkörts i

Vi var tre personer när vi utförde försöken. En person körde trösken, en förde protokoll och en märkte provpåsar. Proverna togs var tionde meter direkt ifrån spannmålselevatorn på skördetrösken. I de tre olika försöksrutorna fanns sex block. I försöksrutorna 1 och 2 var skörden ca 7500 kg/ha och i ruta 3 var skörden ca 8200 kg/ha. Rutorna var 50 meter långa och fyra skärvidder breda. (Se Figur 16) Försöksrutorna låg mitt ute på åkrarna och var inte påverkade av skuggor från skogskanter eller liknande.



Figur 16. Karta över placeringen på de tre försöksrutorna, Varje ruta innehöll två försöksblock.

Mätning av vattenhalt

Prov togs på spannmål, ax-och boss. Proverna frystes in direkt och togs sedan ner till Alnarp för att torrsubstansbestämmas (Se Figur 17). Proven torkades i 65 °C i 36 timmar och vattenhalten räknades ut.



Figur 17. Ax, boss, och kärnor på väg in i värmeskapet.

Mätning av kärnspill

För att undersöka skillnaden i kärnspill lades en träram 1x1 m efter tröskan (Se figur 18). Ramen lades på tio punkter i varje block, halmen och bossen avlägsnades för att leta efter eventuellt kärnspill efter tröskan.



Figur 18. Träram som är 1x1 m innermått för att mäta kärnspill.

RESULTAT

Luftflöde

Resultatet av luftflödesmätningen blev $0,83 \text{ m}^3/\text{s}$ med värmerör påkopplade och $1,02 \text{ m}^3/\text{s}$ utan värmerör (Se tabell 1). Notera att luftmängden är 20 % lägre med värmen påkopplad jämfört med vad den är utan.

Tabell 1. Resultat från luftflödesmätning.

	Med Värme	Utan Värme
Vänster sida	5,27 m/s	6,73 m/s
Höger sida	5,42 m/s	6,41 m/s
Medel lufthastighet	5,35 m/s	6,57 m/s
Rörens area Tot	$0,16 \text{ m}^2$	$0,16 \text{ m}^2$
Tot luftmängd	$0,83 \text{ m}^3/\text{s}$	$1,02 \text{ m}^3/\text{s}$

Återvinningsbar värme tröskmotor

En luftmängd på totalt $0,83 \text{ m}^3/\text{s}$ mättes vid aktuell fläkthastighet och med värmeslangarna monterade (Se tabell 1). En temperaturökning på $25 \text{ }^\circ\text{C}$ uppmättes på termometern monterad i rensverket. Med dessa resultat får vi enligt Molliere diagrammet ut $18,26 \text{ kJ/s}$ i form av värme (se figur 19). Detta motsvarar 17 % ($18,26 \text{ kW}$) av totalt 107 kW tillförd energi i form av dieselolja.

Teoretisk torkningskapacitet

Nedanstående beräkning baseras på försöksblock 5 (Se tabell 3 och 4). Temperaturskillnaden mellan uteluft och förvärmad luft var ca 25°C . Den relativa luftfuktigheten var i området ca 79 % (Väderstation Ärna flygplats Uppsala 15/8-2014 10:00). Då jag misslyckats med att mäta temperaturen på luften från rensverket gör jag antagandet att luften mätas till 40 % RF då den gått igenom spannmålen. Antagandet baseras på diskussion med min handledare. Tröskan framkördes i $1,8 \text{ km/h}$ och

provruktan gav ca 8200 kg/ha. För att beräkna den teoretiska torkningskapaciteten har jag använt mig av Molliere diagrammet (Se Figur 20) och tekniska uppgifter från Volvo BM S 830 för att få fram följande.

Framskörningshastighet: 0,5 m/s

Skärvidd: 2,64 m

Skörd: 0,82 kg/m²

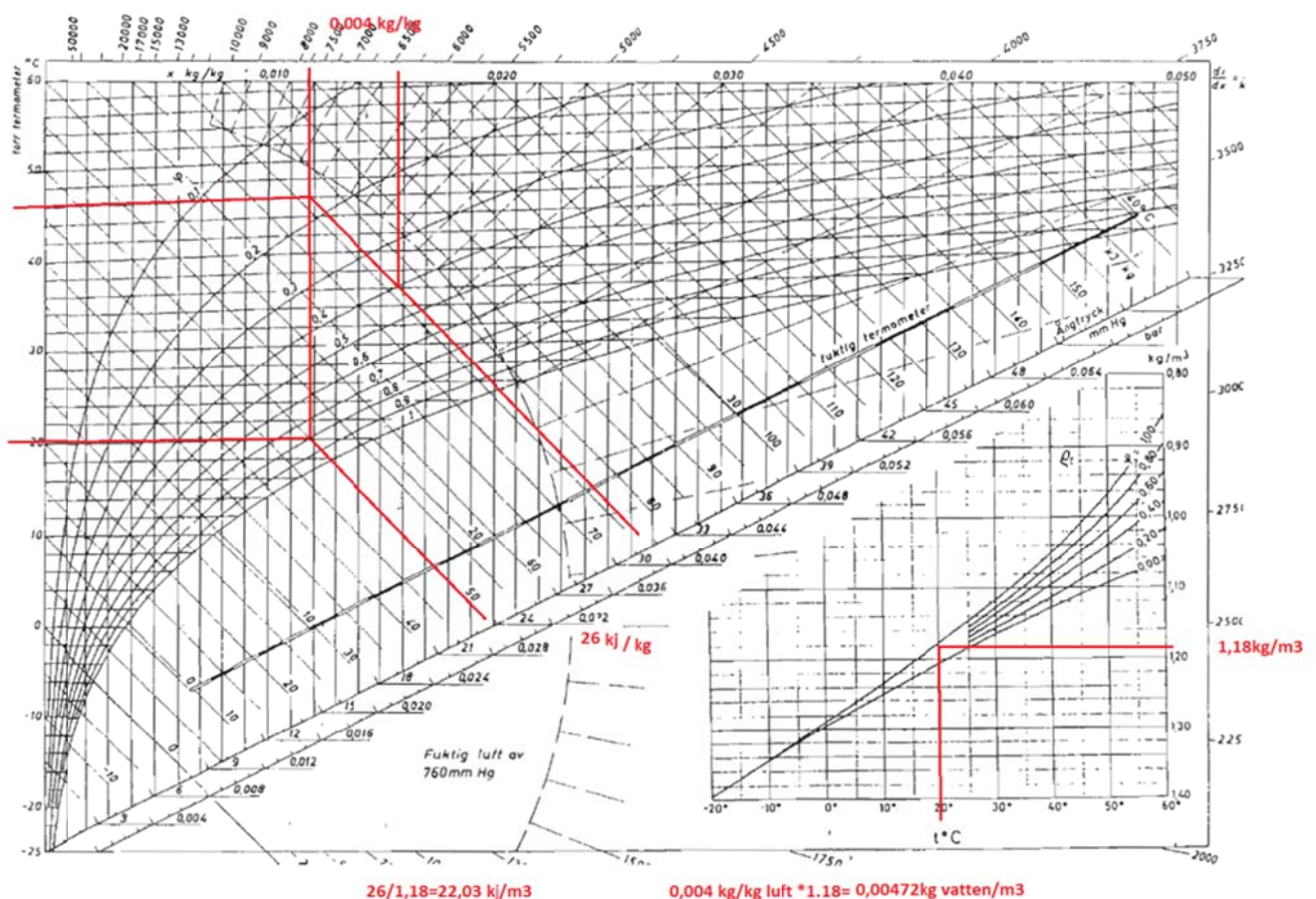
Kapacitet vete 24,5% Vh: $(0,5 \cdot 2,64) \cdot 0,82 = 1,082 \text{ kg/s}$

Mängd vatten vete 24,5% Vh: $1,082 \cdot 0,24 = 0,265 \text{ kg vatten/s}$

Luftmängd Rensverk: 0,83 m³/s (tabell 1)

Fuktupptag luft enligt Mollierdigram 0,004 kg vatten/kg luft, Luftens densitet enligt diagram (figur 19) 1,18 kg/m³

$0,004 \text{ kg vatten/kg luft} \cdot 1,18 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,83 \text{ m}^3/\text{s} = 0,003912 \text{ kg vatten/s}$



Figur 19. Mollierdigram med inritade avläsningarna enligt exemplet ovan.

Teoretisk torkkapacitet:

In: 1,082 kg vete/s vilken innehåller 0,81691 ts kg/s och 0,265 kg vatten/s

Ut: 0,81691 ts kg/s och $(0,265 - 0,003912)$ kg vatten/s = 1,078 kg vete med okänd vattenhalt.

Torrsubstansen i utgående spannmål blir då med värme: $0,81691 / 1,07801 = 0,758$ % vilket motsvarar 24,2% vh.

Torkningen skulle således bli $24,5 - 24,2 = 0,3$ % med antaget spannmåls- och luftflöde.

Resultat kärnspill.

Något spill av kärnor kunde inte hittas efter skördetröskan.

Resultat försök i fält

Uppnådd temperaturhöjning

Enligt tabell 2 uppnåddes under försök på fält som mest en temperaturökning på 20,25 °C med värmeslangarna monterade. Temperaturen varierade mest i block 2 och minst i block 5.

Tabell 2. Medeltemperatur i blocken med slangarna på- respektive fränkopplade. Standardavvikelsen är ett statistiskt mått på hur mycket de olika värdena avviker från medelvärdet. En temperaturhöjning med slangarna monterade är statistiskt säkerställd.

Block	Medeltemperatur °C		standardavvikelse	
	med värme	utan värme	med värme	utan värme
1	36,72	18,9	1,85	0
2	29,18	17,8	2,34	0
3	38,2	22,8	0,84	0
4	38,72	24,6	0,79	0
5	45,25	21	0,74	0
6	42,34	26,2	1,89	0

Vattenhalt i otröskade ax

Prover på ax plockades innan skördetröskan framfördes. Proven vägde ca 50 gram per block och samlades ihop slumpvis från hela sträckan. Totalt samlades tolv prover.

Tabell 3. Resultat av vattenhalts prover på ax före tröskning.

Block	Vh ax	
	med värme	utan värme
1	16,76 %	16,85 %
2	17,26 %	17,25 %
3	18,78 %	18,92 %
4	17,94 %	18,48 %
5	31,60 %	29,40 %
6	28,47 %	28,22 %

Vattenhalt kärnprover

Tabellerna nedan visar medelvärde, standardavvikelse och differens av de olika försöksblocken. Med differens menas högsta och lägsta värdet på proven som är tagna i respektive försöksblock. Ett T test har gjorts för att få fram ett P-värde som talar om ifall det är någon tydlig (=signifikant) skillnad på de försöken som utförts med respektive utan värmerören monterade. Det har inte gått att statistiskt säkerhetsställa någon minskning i vattenhalt på försöken som utförts med respektive utan slangarna monterade.

Tabell 4. Medelvattenhalt, standarsavvikelse samt differens i de olika försöksblocken.

Block	Medelvattenhalt %		standardavvikelse		Differens	
	Med Värme	Utan Värme	Med Värme	Utan Värme	Med Värme	Utan Värme
1	17,12 %	16,90 %	0,14	0,44	0,38	1,29
2	17,13 %	17,03 %	0,27	0,12	0,75	0,35
3	18,77 %	18,70 %	0,09	0,09	0,21	0,2
4	18,38 %	18,57 %	0,22	0,18	0,6	0,47
5	24,34 %	24,40 %	0,15	0,15	0,41	0,41
6	23,44 %	23,40 %	0,04	0,12	0,13	0,32

Vattenhalt boss

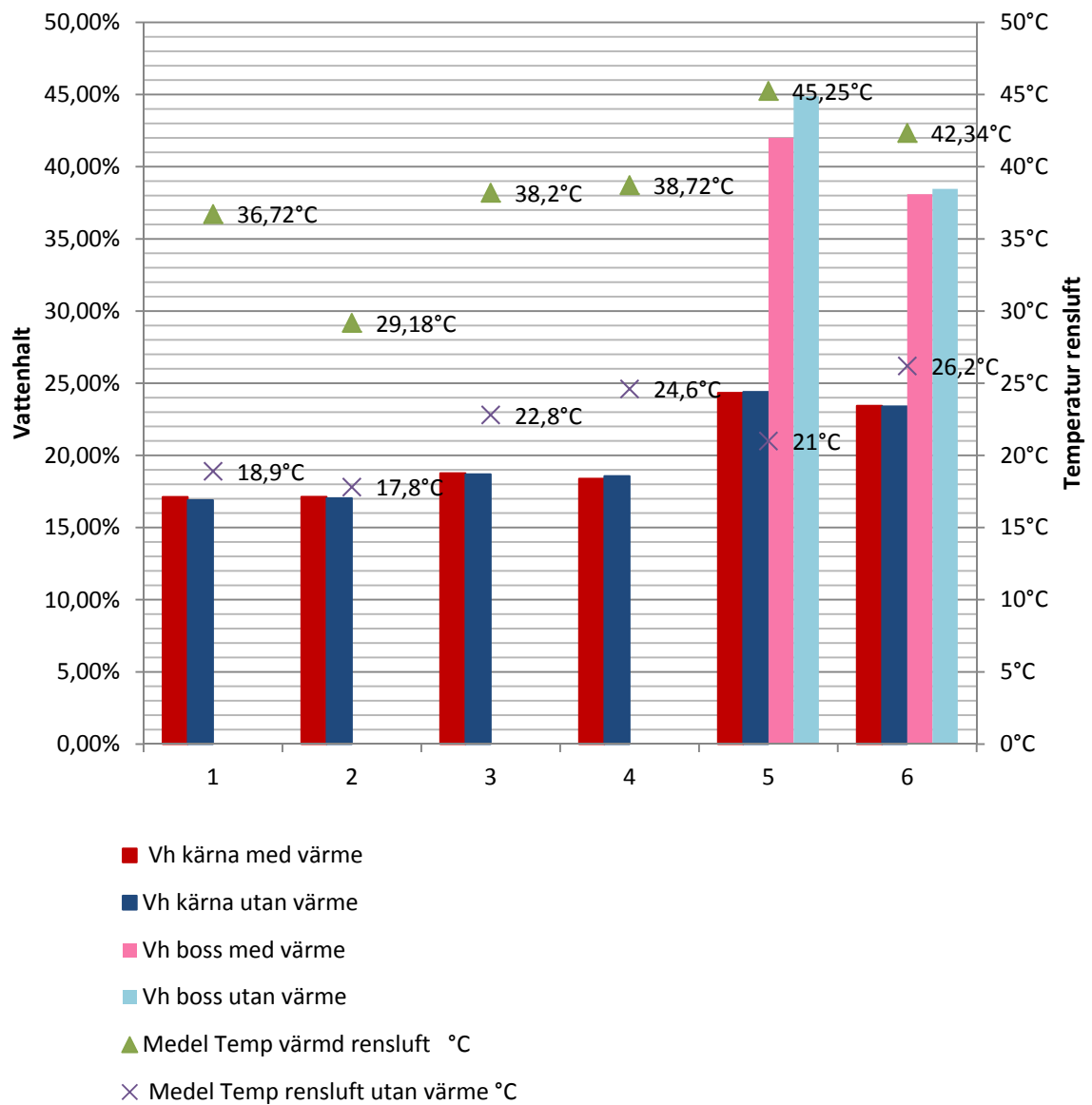
I försöksblock fem och sex togs vattenhaltsprover på boss. I båda blocken kan man utläsa en minskning av vattenhalten. I block fem har vattenhalten minskat med i medeltal 2,87 % och i block 6 med 0,36 %. En stor differens i de enskilda blocken kan dock utläsas (se tabell 5).

Tabell 5. Medelvärde, standardavvikelse och differens av de olika försöksblocken där bossprover tagits.

Block	Medel vattenhalt %		standardavvikelse		Differens	
	Med Värme	Utan Värme	Med Värme	Utan Värme	Med Värme	Utan Värme
Boss 5	42,01 %	44,88 %	2,06	1,56	4,87	3,09
Boss 6	38,10 %	38,46 %	1,71	1,55	4,01	3,71

Sammanställning resultat av vattenhalts prov

Diagrammet nedan figur 20 kan utläsas att endast i block 4 och 5 har kärnorna en genomsnittlig vattenhalt som är lägre i prov tagna på kärnorna när skördetröskan har framförts med värmerören påkopplade. Medelvärdena för vattenhalt i boss för block fem och sex visar båda en lägre vattenhalt med värme påkopplad. Någon skillnad på vattenhalt kopplat till rensluftens temperatur kunde inte påvisas av resultatet.



Figur 20. Diagram över medelvärden på vattenhalt kärna och boss i relation till temperatur på rensluft.

DISKUSSION

Någon positiv effekt (=torrare kärnor) med att använda sig av modifieringen på skördetröskan har jag inte kunnat påvisa med hjälp av försöken som jag utfört i fält. Differenserna i vattenhalt på de enskilda proven i försöksblocken är alltför stora. Från 0,16 procent till den största skillnaden på 1,29 procent vad gäller vetekärnorna (se tabell 4). Detta medför att om en teoretisk torkningseffekt på 0,3 procent som räknats fram skulle vara möjlig i praktiken så går den inte att bevisa med hjälp av detta datamaterial.

Någon skillnad på vattenhalt kopplat till lufttemperatur differensen inom försöksblocken har heller inte gått att påvisa (se figur 20). I block fem och sex där prover togs på boss från returelvatorn på tröskan så ser man en minskning av vattenhalten i båda försöken, 2,87 procent i medel på block fem och 0,36 procent i medel på block sex, men även där syns en stor skillnad inom de enskilda proverna i blocken.

Mätningen av kärnspill har inte gett något resultat då inga kärnor hittades. Troligen berodde detta på att tröskan framkördes i så låg hastighet på grund av risk för cylinderstopp i den fuktiga grödan. Hade skillnad i kärnspill kunnat utläsas skulle det inte gå att bevisa att skillnaden berodde på den tillförda värmen då luftmängden begränsades med värmeslangarna på, jämfört med utan (se tabell 1).

Ser man till ombyggnationen av tröskan skulle den gjorts annorlunda då grövre slangar skulle monterats för att minska motståndet för fläkten. Eventuellt skulle ytterligare en fläkt monterats som hjälp till att trycka luften från motorutrymmet och därmed uppnå samma luftmängd med och utan tillsatsvärme. Under de olika försöken var det stora problem med att temperaturen på den värmda rensluften sjönk så fort tröskan inte framfördes i grödan, dvs då motorn belastas. När tröskan kördes några dagar efter försöken var avklarade uppnåddes efter en längre stunds sammanhängande körning en temperaturökning med nästan 30 °C då slangarna var monterade.

Vad gäller vattenhaltsproverna skulle en större mängd material samlats och analyserats än de ca 100-300 gram per prov som användes. Hade man i stället haft en större volym på varje prov hade troligen en jämnare vattenhalt på proven erhållits. Kärnor från ett ax med mycket hög vattenhalt i förhållande till övriga ax påverkar provet mycket då det blir en liten utspädning. Genom att ha större prover hade differensen i proverna blivit mindre och mera tillförlitliga.

Beträffande kärnspillet skulle det vara intressant att göra spillprover med en tröska där det gavs möjlighet till att höja respektive sänka luftflödet i rensverket och kunna slå av

och på tilluftsvärme från förarplatsen under gång. Man skulle då lättare kunna undersöka om en lägre luftmängd av varmluft gav en ökad rensning. Luftmängden skulle då inte behöva ökas och risken för mer spill skulle minimeras.

Det krävs längre tid för kärnan att värmas upp så att fukten trycks ut mot ytan och kunna förångas. Därför kommer troligen inte någon torkningseffekt på skörd i normala förhållanden kunna ske genom att värma rensluften. Däremot i en gröda med hög vattenhalt och hög ytfuktighet tror jag positiva resultat kan erhållas. Bärning av skörd under dessa förhållanden begränsas inte enbart av problem vid lagring, kärnspill och dålig rensning. Utan av vilken maximal fuktighet hos grödan som skördetröskans skärbord och tröskverk klarar av.

Något som var intressant och som jag fick upp ögonen för under arbetet var hur mycket överskottsenergi som man inte gör något med. Med hjälp av två ventilationsslangar, lite plåt, silvertejp och en gammal badrumsradiator har en effekt motsvarande 18,26 kW erhållits och jag är övertygad om att med en större ekonomisk budget och mer kunskap skulle det gå att höja utbytet avsevärt. Sen är frågan var det är mest effektivt att använda sig av värmen, Kanske skulle det vara värt att väcka liv i tidigare innovationer där man använts sig av värmen till att torka spannmålen i tanken på tröskan. Skulle man kunna ta vara på denna energi finns mycket att tjäna, både i kostnad och i miljösynpunkt.

Trots resultat som inte visar någon signifikant skillnad vill jag inte förkasta idén helt och hållet. Med teoretiska beräkningar som visar en torkningseffekt och tidigare innovationer som sägs ha fungerat som bakgrund blir därför mina slutsatser att detta är en intressant uppfinning som är värd att finslipas.

Som slutord vill jag säga att detta försök har varit ett väldigt roligt experiment med väldigt små förväntningar. Tröskan finns kvar och det skulle vara mycket intressant att göra fler försök med den.

REFERENSER

Anonym, farmshow (2015-05-18). *On the go combine dryer*

http://www.farmshow.com/a_article.php?aid=9000 [2015-05-18]

Berg M & Persson S, (1953). *Handledning vid Skördetröskning*. Jordbrukstekniska institutets. Meddelande nr. 235. Uppsala

Brooker, D. B., Bakker-Arkema, Fred W. & Hall, Carl W. (1992). *Drying and storage of grains and oilseed*. New York. Van Nostrand Reinhold,

Garwey, S (2014-09-24). *Grainnews*. Dry grain on the combine.

<http://www.grainnews.ca/2009/04/20/dry-grain-on-the-combine/> [2009-02-20]

Google patents (2015-05-18). *Combine-grain dryer*

<http://www.google.com/patents/US5156570> [1992-10-20]

Hvam, S. A. (1998). *Markens maskiner*. Århus: Landbrugsforlaget

Jonsson, N. (2006). *Uppdatering av gårdens spannmålstork*. Uppsala. JTI- institutet för jordbruks- och miljöteknik.

Jordbruksverket (2015-05-18). *Jordbruket släpper ut växthusgaser*

<http://www.jordbruksverket.se/amnesomraden/miljoklimat/begransadklimatpaverkan/jordbruketslapperutvaxthusgaser.4.4b00b7db11efe58e66b8000986.html> [2015-02-17]

Kutzbach, H. D. & Quick, G.R. (1999) *Harvesters and threshers* 6: I Stout, B.A. & Cheze, B.(red.) *CIGR Handbook of agricultural engineering vol 3*. MI USA: American Society of Agricultural Engineering, ss 311-312.

Lundin, G. (1999). *Skördetröskning av spannmål under fuktiga förhållanden*. Jönköping: Jordbruksverket

Nationalencyklopedin (2014-09-13). *torkning*. <http://www.ne.se/lang/torkning> [2014-09-13]

Sörkvist, L. (red.) (2000). *Jordbrukets fältmaskiner*. Stockholm: Natur och kultur/LT

Wetterblad, B. & Malmström, L. (1999). *Traktorer och redskapsbärare*. Örebro: Ljungföretagen.

